



TITLE:

コランダム構造酸化ガリウムのデバイス化に関する基礎研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

内田, 貴之

CITATION:

内田, 貴之. コランダム構造酸化ガリウムのデバイス化に関する基礎研究. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21111>

RIGHT:

許諾条件により本文は2019-03-01に公開

京都大学	博士（ 工 学 ）	氏名	内 田 貴 之
論文題目	コランダム構造酸化ガリウムのデバイス化に関する基礎研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、コランダム構造酸化ガリウム（$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$）が高耐圧・低損失のパワーデバイスとして有用な物性を持つことに着目し、産業応用上コストメリットの大きいミスト CVD を用いてデバイス化を行うための基盤技術に関する研究をまとめたもので、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、パワーデバイス材料としての研究が行われている各種半導体の物性を概観し、デバイス応用の観点でサファイア基板上に成長した $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の特徴を述べている。これをふまえ、$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ のデバイス応用に向けて必要となる基盤技術についてまとめ、本研究の目的を明確にしている。</p> <p>第2章では、Si をドーパントとした $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜の n 型導電性制御に関して述べている。従来の研究で用いられていた Sn 添加では、$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜を熱処理すると高抵抗化すること、その原因が Sn^{4+} の脱離にあることを示している。安定なドーパントとして Si が望ましいことを提唱して、Si 添加に適した原料として 3-シアノプロピルジメチルクロシランがあることを見出し、n 型導電性についてキャリア密度を $1\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $2\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で制御して、最大移動度が $31 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ を達成している。また、熱処理による高抵抗化も生じないことを指摘している。</p> <p>第3章では、ヘテロ接合デバイスを目的に、$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と同じ結晶構造を持つ $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ 混晶薄膜（$x=0\sim 0.8$）の作製およびそのエッチング特性について述べている。熱リン酸によるウェットエッチングでは、Al 組成が大きくなるとエッチング速度が小さくなるものの、$100\sim 150\text{ }^\circ\text{C}$ においてエッチングが可能であることを示している。また、誘導結合型プラズマ反応性イオンエッチング（ICP-RIE）では、すべての組成条件で、デバイスプロセスに適した 100 nm/min 程度のレートで $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ をエッチングできることを明確にしている。</p> <p>第4章では、MOSFET のゲート絶縁材料としての応用を目的に、ミスト CVD により非晶質 AlO_x 薄膜を作製した結果について述べている。一般的な真空を用いた作製手法と同程度の比誘電率（~ 7）、破壊電界強度（$\sim 8 \text{ MV/cm}$）が得られたことを示し、本研究で目的とする $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ MOSFET のゲート絶縁膜として望ましい特性を持つことを指摘している。また、結果の波及効果として、p-Si へのパッシベーション特性を調べ、負の固定電荷面密度 10^{12} cm^{-2}、電子の再結合速度 $< 8 \text{ cm/s}$ を示し、太陽電池への応用があわせて見込めることを指摘している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	内田 貴之
<p>第5章では、各種 Al 組成 x を持つ $\alpha-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3/\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ヘテロ接合のバンドオフセットを光電子分光法を用いて解析している。その結果、Al 組成 x が変化してバンドギャップが大きくなっても、価電子帯オフセットはほとんど変化せず、伝導帯オフセットが大きく変化するタイプ I 型のアライメントをとることを示している。これは、ヘテロ接合デバイスの作製に望ましいバンドアライメントであると指摘している。</p> <p>第6章では、活性層として Si ドープ n 型 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜、ゲート絶縁膜として非晶質 AlO_x を用いた MOSFET を試作した結果を述べている。第2章の結果をもとに、活性層のキャリア密度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした場合のデバイス設計から活性層厚は 250 nm 以下とすべきことを導き、これをもとに MOSFET を試作している。MOSFET においては、ソース-ドレイン間でオーミックライクな特性を得るとともに、ゲート電圧によるドレイン電流の変調を実証した。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、研究成果の波及効果および今後の展開について提言を行っている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、コランダム構造酸化ガリウム ($\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$) が高耐圧・低損失のパワーデバイスとして有用な物性を持つことに着目し、産業応用上コストメリットの大きいミスト CVD を用いてデバイス化を行うための基盤技術に関する研究をまとめたものであり、主な成果は次のとおりである。

1. $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜の n 型導電性制御に向け、従来の Sn 添加の問題点を示し、安定なドーパントとして Si が望ましいことを提唱した。Si 添加に適した原料として 3-シアノプロピルジメチルクロロシランがあることを見出し、キャリア密度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で制御して、最大移動度が $31 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ を達成した。
2. ヘテロ接合デバイスを目的に、 $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ 混晶薄膜 ($x=0\sim 0.8$) を得て、熱リン酸によるウェットエッチングおよび誘導結合型プラズマ反応性イオンエッチング (ICP-RIE) の特性を調べた。前者では、Al 組成の増加につれてエッチング速度が減少するものの、 $100\sim 150\text{ }^\circ\text{C}$ においてエッチングが可能なこと、また後者では、すべての組成条件で、デバイスプロセスに適した 100 nm/min 程度のレートで $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ をエッチングできることを示した。
3. MOSFET のゲート絶縁材料としての応用を目的に、ミスト CVD により非晶質 AlO_x 薄膜を作製し、一般的な真空を用いた作製手法と同程度の比誘電率 (~ 7)、破壊電界強度 ($\sim 8 \text{ MV/cm}$) を得た。また、得られた非晶質 AlO_x 薄膜は、本研究で目的とする $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ MOSFET のゲート絶縁膜として望ましい特性を持つとともに、Si 太陽電池のパッシベーション膜としての応用が見込めるという波及効果を示した。
4. 各種 Al 組成 x を持つ $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3/\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ヘテロ接合のバンドオフセットを光電子分光法を用いて解析した。その結果、Al 組成 x が変化しても、価電子帯オフセットはほとんど変化せず、伝導帯オフセットが大きく変化するタイプ I 型であることを示した。これは、ヘテロ接合デバイスの作製に望ましいバンドアライメントであることを指摘した。
5. 活性層として Si ドープ n 型 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜、ゲート絶縁膜として非晶質 AlO_x を用いた MOSFET を試作し、ソース-ドレイン間でオーミックライクな特性を得るとともに、ゲート電圧によるドレイン電流の変調を実証した。

以上、本論文は、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を用いた高耐圧・低損失パワーデバイスにつなげる基盤技術を築いたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。